

SURFACE ACOUSTIC WAVE ELEMENT

Patent Number: JP6326553
 Publication date: 1994-11-25
 Inventor(s): EDA KAZUO; others: 03
 Applicant(s): MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
 Requested Patent: JP6326553
 Application Number: JP19940071586 19940315
 Priority Number(s):
 IPC Classification: H03H9/25; H03H3/08; H03H9/145
 EC Classification:
 Equivalents: JP3435789B2

Abstract

PURPOSE: To obtain a surface acoustic wave element which has a large electromechanical coupling coefficient and a small temperature dependence property by applying the flattening, specular surfacing, cleansing and hydrophilic treatments to the surface of each single crystal piezoelectric substrate and then applying the heat treatment to those piezoelectric substrates which are overlapped on each other.

CONSTITUTION: A single crystal piezoelectric thin plate 20 uses the same material as that of a single crystal piezoelectric substrate 10 but is used by making thinner than the substrate 10 since the plate 20 functions to excite the surface acoustic wave. When a high frequency signal is supplied to a comb-line electrode 30, the surface acoustic wave is excited on a piezoelectric part near the electrode 30 and then propagated to a comb-line electrode 30' via a lamination structure. The surface acoustic wave is converted again into an electric signal by a piezoelectric part on the lower part of the electrode 30'. The single crystal piezoelectric substrates of the easy-to-handle thickness are prepared for both substrate 10 and plate 20. Then the flattening, specular surfacing, cleansing and hydrophilic treatments are applied to the surfaces of the substrate 10 and the plate 20. The heat treatment is applied to these substrate 10 and the plate 20 which are overlapped on each other for direct junction and for lamination. The plate 20 is made thinner by grinding down to the prescribed thickness. The piezoelectric substance uses lithium niobate, lithium tantalate, lithium borate, a quartz, of etc., single crystal.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-326553

(43) 公開日 平成6年(1994)11月25日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 3 H	9/25	C 7259-5 J		
	3/08	7259-5 J		
	9/145	C 7259-5 J		

審査請求 未請求 請求項の数41 F D (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平6-71586
(22) 出願日 平成6年(1994)3月15日
(31) 優先権主張番号 特願平5-53431
(32) 優先日 平5(1993)3月15日
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72) 発明者 江田 和生
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 田口 豊
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72) 発明者 大西 慶治
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74) 代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

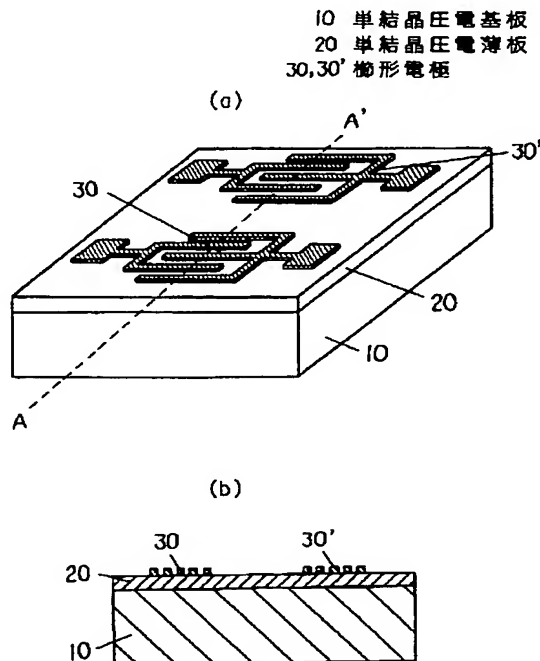
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面弾性波素子

(57) 【要約】

【目的】 電気機械結合係数、音速、温度依存性の組合わせの自由度が大きく、とくに電気機械結合係数が大きく温度依存性の小さい表面弾性波素子を提供することを目的とする。

【構成】 圧電特性の異なる複数の単結晶圧電基板または単結晶圧電基板と非圧電基板を、それぞれの基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化して、重ね合わせ熱処理により直接接合するか、少なくとも一方の基板表面に、無機薄膜層を形成してのち、同様の処理により直接接合して積層し、一方の圧電基板の厚み、および無機薄膜層の厚みを、使用する音波の波長に適した厚みとし、前記圧電基板に表面波励振用櫛形電極を設けるようにしたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の単結晶圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板同士が、それぞれの基板表面を平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたことを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項2】積層された単結晶圧電基板の音速が異なることを特徴とする請求項1記載の表面弾性波素子。

【請求項3】単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の音速の温度依存性が、前記他方の単結晶圧電基板の音速の温度依存性よりも大きいことを特徴とする請求項1記載の表面弾性波素子。

【請求項4】単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数が、前記他方の単結晶圧電基板の電気機械結合係数よりも大きいことを特徴とする請求項1記載の表面弾性波素子。

【請求項5】単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶の群より選ばれた組合せであることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の表面弾性波素子。

【請求項6】表面弾性波を励振する単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムであり、他方の単結晶圧電基板が水晶であることを特徴とする請求項5記載の表面弾性波素子。

【請求項7】表面弾性波を励振する単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の波長の3波長以下の厚みであることを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の表面弾性波素子。

【請求項8】複数の単結晶圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板同士が、すくなくとも前記一方の基板表面に、無機薄膜層を有し、それぞれの無機薄膜層および基板表面を平坦化、鏡面化、清浄化、親水化して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたことを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項9】無機薄膜層の厚みが使用する表面弾性波の波長の1/2波長以下の厚みであることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項10】無機薄膜層が珪素または珪素化合物であることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項11】櫛形電極を無機薄膜層と単結晶圧電基板の界面に設けたことを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項12】接地電極を無機薄膜層と単結晶圧電基板の界面に設けたことを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項13】接地電極を単結晶圧電基板の表面に設けたことを特徴とする請求項11記載の表面弾性波素子。

【請求項14】珪素化合物が酸化珪素または窒化珪素であることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項15】積層された単結晶圧電基板の音速が異なることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項16】単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の音速の温度依存性が、前記他の部分の単結晶圧電基板の音速の温度依存性よりも大きいことを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項17】単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数が、前記他の部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数よりも大きいことを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項18】単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶であることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項19】表面弾性波を励振する単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムであり、他方の単結晶圧電基板が水晶であることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項20】表面弾性波を励振する単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の波長の3波長以下の厚みであることを特徴とする請求項8記載の表面弾性波素子。

【請求項21】少なくとも1つの単結晶圧電基板と非圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板が、それぞれの基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたことを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項22】単結晶圧電基板の音速が、非圧電基板の音速よりも遅いことを特徴とする請求項21記載の表面弾性波素子。

【請求項23】単結晶圧電基板の音速が、非圧電基板の音速よりも速いことを特徴とする請求項21記載の表面弾性波素子。

【請求項24】単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶であることを特徴とする請求項21記載の表面弾性波素子。

【請求項25】非圧電基板が、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトであることを特徴とする請求項21記載の表面弾性波素子。

【請求項26】単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の波長の1波長以下の厚みであることを特徴とする請求項21から26のいずれかに記載の表面弾性波素子。

【請求項27】単結晶圧電基板の熱膨張率が非圧電基板の熱膨張率よりも大きいことを特徴とする請求項21記載の表面弾性波素子。

【請求項28】少なくとも1つの単結晶圧電基板と非圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板

が、すくなくとも前記基板の一方の表面に、無機薄膜層を有し、前記無機薄膜層および基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたことを特徴とする表面弾性波素子。

【請求項29】無機薄膜層の厚みが使用する表面弾性波の波長の $1/2$ 波長以下の厚みであることを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項30】無機薄膜層が珪素または珪素化合物であることを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項31】櫛形電極を無機薄膜層と単結晶圧電基板の界面に設けたことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項32】櫛形電極を無機薄膜層と非圧電基板の界面に設けたことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項33】接地電極を無機薄膜層と非圧電基板の界面に設けたことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項34】接地電極を単結晶圧電基板の表面に設けたことを特徴とする請求項31または32記載の表面弾性波素子。

【請求項35】珪素化合物が酸化珪素または窒化珪素であることを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項36】単結晶圧電基板の音速が、非圧電基板の音速よりも遅いことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項37】単結晶圧電基板の音速が、非圧電基板の音速よりも速いことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項38】単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶であることを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項39】非圧電基板が、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトであることを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【請求項40】単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の波長の1波長以下の厚みであることを特徴とする請求項28から39のいずれかに記載の表面弾性波素子。

【請求項41】単結晶圧電基板の熱膨張率が非圧電基板の熱膨張率よりも大きいことを特徴とする請求項28記載の表面弾性波素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、フィルタや共振子などに用いる表面弾性波素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、移動体通信技術の進歩発展により、通信機器の小型、高周波化が進んでいる。これらの機器には、必ず発振器や高周波のフィルタが必要であり、またこれらの発振器や高周波フィルタに表面弾性波素子が多く用いられている。

【0003】従来の表面弾性波素子、例えば表面弾性波フィルタや表面弾性波共振子は、ニオブ酸リチウムなどの圧電基板に櫛形電極を形成し、その電極に交番電界を加えることによって表面弾性波振動を励振している。移動体通信機器に使用するためには、高周波で特性の良い表面弾性波素子が必要である。表面弾性波素子の高周波特性として重要なのは、フィルタの場合は挿入損失とその温度依存性であり、共振子の場合は共振のQ（損失の逆数に対応）と共振および反共振の比（容量比）およびその温度依存性である。容量比は共振器型フィルタなどに用いる場合に、通過帯域に直接関係する。挿入損失、共振のQ、容量比は、用いる圧電体の電気機械結合係数に依存し、温度依存性は用いる圧電体の音速の温度依存性に関与する。

【0004】また製造面からみると、圧電基板の音速により櫛形電極の線幅がきまるため、ホトリソグラフィなどの微細加工の容易さの点から、圧電基板の音速も重要である。

【0005】電気機械結合係数と温度依存性、音速は、用いる材料およびその結晶方位によって大きく変わる。ニオブ酸リチウムの場合、64度YカットX軸伝搬で、電気機械結合係数が11.3%、温度依存性が70ppm/°C、音速が4742m/秒、128度YカットX軸伝搬で、電気機械結合係数が5.5%、温度依存性が75ppm/°C、音速が3980m/秒、タンタル酸リチウムの場合、36度YカットX軸伝搬で、電気機械結合係数が5.0%、温度依存性が30ppm/°C、音速が4160m/秒、水晶の場合、42.5度YカットX軸伝搬で、電気機械結合係数が0.15%、温度依存性が0ppm/°C、音速が3158m/秒、ほう酸リチウムの場合、45度Xカットで、電気機械結合係数が1.0%、音速が3401m/秒程度である。

【0006】電気機械結合係数の面からいうと、ニオブ酸リチウムが一般的に望ましい。しかしながら温度依存性は水晶などに比べて劣る。水晶は温度依存性は極めて小さいが、電気機械結合係数が小さい。また音速については、高周波での共振子やフィルタに用いる場合には、速いほど櫛形電極の線幅を大きくとれるので、64度YカットX軸伝搬ニオブ酸リチウムが好ましい。

【0007】設計の自由度の観点から言うと、電気機械結合係数は大きく、また温度依存性が小さく、音速の速いものがあれば好ましい。しかしながら上記材料では不十分である。

【0008】従来の単一材料からなる圧電基板を用いた

のでは、電気機械結合係数と温度依存性の組合せが限られており、設計の自由度が少ない。また電気機械結合係数が大きく、温度依存性の小さい材料がない、音速の速い圧電基板がないという課題があった。

【0009】これらの課題を解決するために、積層構造の表面弾性波素子が知られている。例えば、音速の速い表面弾性波基板を得るために、サファイヤやダイヤモンド等の音速の速い非圧電基板上に圧電膜を積層した構成が報告されている。(例えば、特開昭64-62911)。圧電膜としては、スパッタリングや化学気相成長法(CVD)などの薄膜形成技術により形成したZnOやAlNが用いられる。

【0010】また、圧電体同士の積層であるZnOとニオブ酸リチウムの積層構造が、A.Armstrongらによって報告されている(Proc. 1972 IEEE Ultrasonics Symp. (IEEE, New York, 1972)p.370)。このような構成にすると電気機械結合係数に優れた表面弾性波素子が得られる。

【0011】また、温度特性改善のために、Si半導体基板上に圧電体であるAlN膜を形成し、その上に酸化珪素の膜を形成して、温度特性を改善する方法が知られている(USP4,516,049)。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の積層技術は、いずれもスパッタリングやCVDなどの各種薄膜形成技術を用いた積層構造である。その場合、基板と材料の組合せに厳しい制限がある。例えば、スパッタリングなどにより形成した圧電膜は、バルク単結晶よりも圧電特性が劣る。また圧電特性を出すためには、少なくとも結晶方向を一様に配向させることが必要であるが、配向させるためには、基板と膜の組合せが極めて限定される。また望ましくはエピタキシャル成長技術により単結晶薄膜を形成するのが好ましいが、この場合には基板と膜の組合せが更に限定される。例えば、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムなど通常表面弾性波素子に用いられる圧電材料では、基板材料が異なる場合、良好なエピタキシャル膜は得られていない。そのためこの場合にも、設計の自由度が乏しく、電気機械結合係数が大きく温度依存性に優れ、音速に優れた材料が乏しいという課題があった。

【0013】特性的には、電気機械結合係数の大きい圧電材料、例えば、PZTを誘電体や半導体などの基板に積層できれば、電気機械結合係数の大きい基板になることはわかっているが、現実にはそれをうまく実現できる手段がない。上記の薄膜技術で作った場合、圧電材料を所定の方向に配向させてつくるが必要となるが、基板との組合せが著しく制限されるため、実用的なものは得られていない。また各種接着剤を用いると、接着剤が表面弾性波伝搬の界面にはいり、表面弾性波が減衰し、好ましい特性が得られない。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の表面弾性波素子は、複数の単結晶圧電基板からなり、それぞれの基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたものである。

【0015】また前記単結晶圧電基板間の音速が異なることにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性と音速を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0016】また前記単結晶圧電基板間の電気機械結合係数が異なることにより単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0017】特に前記単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数が、前記他方の単結晶圧電基板の電気機械結合係数よりも大きいことにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0018】また前記単結晶圧電基板はニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶がよい。

【0019】また前記表面弾性波を励振する単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムであり、他方の単結晶圧電基板が水晶であってもよい。

【0020】また前記表面弾性波を励振する単結晶圧電基板の厚みは、好ましくは使用する表面弾性波の波長の3波長以下の厚みであるのがよい。

【0021】また本発明の表面弾性波素子は、複数の単結晶圧電基板からなり、すくなくとも前記基板の一方の表面に、無機薄膜層を有し、それぞれの無機薄膜層および基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための櫛形電極を設けたものであってもよい。

【0022】また前記無機薄膜層の厚みは、好ましくは使用する表面弾性波の波長の1/2波長以下の厚みがよい。

【0023】また前記無機薄膜層は好ましくは珪素または珪素化合物がよい。また前記櫛形電極は前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設けてもよい。

【0024】また前記櫛形電極を前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設け、接地電極を前記単結晶圧電基板表面に設けてもよい。

【0025】また接地電極を前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設けてもよい。また珪素化合物は酸化珪素または窒化珪素であってもよい。

【0026】また前記単結晶圧電基板間の音速が異なることにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性と音速を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0027】また前記単結晶圧電基板間の電気機械結合係数が異なることにより単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0028】とくに前記単結晶圧電基板のうち、表面弾性波励振部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数が、前記他の部分の単結晶圧電基板の電気機械結合係数よりも大きいことにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0029】また前記単結晶圧電基板はニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶が好ましい。

【0030】また前記表面弾性波を励振する単結晶圧電基板がニオブ酸リチウムであり、他方の単結晶圧電基板が水晶であってもよい。

【0031】また前記表面弾性波を励振する単結晶圧電基板の厚みは、好ましくは使用する表面弾性波の波長の3波長以下の厚みであるのがよい。

【0032】また少なくとも一つの単結晶圧電基板と非圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板が、それぞれの基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための楕円形電極を設けるようにしたものである。

【0033】その時、前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板の音速が異なっていることにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性と音速を持った複合単結晶圧電基板が得られる。

【0034】特に前記単結晶圧電基板の音速が遅くても、前記非圧電基板の音速が速ければ、高周波用表面弾性波素子として、ホトリソグラフィーなどの製造に有利な複合単結晶圧電基板となる。

【0035】また前記単結晶圧電基板はニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶が好ましい。

【0036】また前記非圧電基板は、ガラス、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトであってもよい。

【0037】また前記単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の1波長以下の厚みが適している。

【0038】また前記単結晶圧電基板の熱膨張率が前記非圧電基板の熱膨張率よりも大きいことにより、温度依存性に優れた複合単結晶圧電基板が得られる。

【0039】また本発明による表面弾性波素子は、少なくとも1つの単結晶圧電基板と非圧電基板からなり、前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板が、すくなくとも前記基板の一方の表面に、無機薄膜層を有し、それぞれの無機薄膜層および基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されており、前記単結晶圧電基板に表面弾性波を励振するための楕円形電極を設けたものであ

ってもよい。

【0040】また前記無機薄膜層の厚みは、好ましくは使用する表面弾性波の波長の1/2波長以下の厚みがよい。

【0041】また前記無機薄膜層は好ましくは珪素または珪素化合物がよい。また前記楕円形電極は前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設けてもよい。

【0042】また前記楕円形電極は前記無機薄膜層と前記非圧電基板の界面に設けてもよい。また前記楕円形電極を前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設け、接地電極を前記単結晶圧電基板表面に設けてもよい。

【0043】また接地電極を前記無機薄膜層と前記単結晶圧電基板の界面に設けてもよい。また珪素化合物は酸化珪素または窒化珪素であってもよい。

【0044】また前記単結晶圧電基板と前記非圧電基板の音速が異なることにより、単一単結晶圧電基板では得られない圧電特性と音速を持った単結晶圧電基板が得られる。

【0045】特に前記単結晶圧電基板の音速が遅くても、前記非圧電基板の音速が速ければ、高周波用表面弾性波素子として、ホトリソグラフィーなどの製造に有利な複合単結晶圧電基板となる。

【0046】また前記単結晶圧電基板はニオブ酸リチウムまたはタンタル酸リチウムまたはほう酸リチウムまたは水晶が好ましい。

【0047】また前記非圧電基板は、ガラス、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトが好ましい。

【0048】また前記単結晶圧電基板の厚みが使用する表面弾性波の波長の1波長以下の厚みが適している。

【0049】また前記単結晶圧電基板の熱膨張率が前記非圧電基板の熱膨張率よりも大きいことにより温度依存性に優れた複合単結晶圧電基板が得られる。

【0050】

【作用】上記のような構成とすることにより、積層した界面近傍を表面弾性波が伝搬することから、複合単結晶圧電基板の電気機械結合係数、音速、温度依存性は、それぞれの基板単独の電気機械結合係数、音速、温度依存性と異なるものが得られる。

【0051】

【実施例】以下本発明の実施例の表面弾性波素子の構成とその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0052】（実施例1）本発明の表面弾性波素子の構造の第1の実施例の斜視図を図1（a）に、また図1（a）の、A-A'部断面構造を、図1（b）に示す。

【0053】図1において、10は単結晶圧電基板、20は単結晶圧電薄板（単結晶圧電基板であるが、表面弾性波を励振する方の基板は、薄板化して用いるため、単結晶圧電基板10と区別するために、以降単結晶圧電薄板と記述する）、30、30'は単結晶圧電薄板20の

上に設けた櫛形電極である。櫛形電極はここでは簡略化して表示している。

【0054】単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20は、例えば単結晶圧電体であるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶が適している。

【0055】表面弾性波素子としての機能は、櫛形電極30に高周波信号を入れることにより、その近傍の圧電部に表面弾性波が励振され、それが積層構造を経て、他方の櫛形電極30'に伝搬して、櫛形電極30'下部の圧電部で再び電気信号に変換されるものである。ここでは櫛形電極を用いた表面弾性波素子の基本構成を示したもので、実際に高周波フィルタや共振子にする場合には、櫛形電極の数を増したり、構成を変えたりする。

【0056】単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20は、それぞれ扱い易い厚みの単結晶圧電基板を用意し、それぞれの基板表面を平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層された後、単結晶圧電薄板20側が所定の厚みに研磨、薄板化されたものである。

【0057】ここで用いた直接接合の意味について説明する。まず直接接合の製造プロセスについて説明する。

【0058】具体的には、例えば、圧電体として、単結晶のニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を用いた場合について説明する。

【0059】まず直接接合しようとする2枚の圧電体表面を、平坦化した後、鏡面研磨し、洗浄にする。必要に応じてエッチングにより表面層を除去する。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、水晶のエッチングには弗酸系エッチング液を用いる。ほう酸リチウムの場合には弱酸でよい。次に表面を親水化処理する。具体的には、例えばアンモニア過酸化水素溶液に浸すことにより、表面に水酸基が容易に付着するようになり親水化される。次に純水で十分洗浄する。これにより各単結晶圧電基板表面に水酸基が付着する。この状態で2枚の単結晶圧電基板を重ね合わせると、主として水酸基のファンデアーワールス力により2枚の基板が吸着する。この状態でも強固な接着状態となるが、さらにこの状態で、100℃以上の温度で数10分から数10時間熱処理することにより、界面から水構成成分が次第に抜けていく。これに伴い、水酸基の水素結合主体の結合から酸素や水素、また基板構成原子のかかわる結合が進み、基板構成原子同士の接合が序々に始まり接合は非常に強化される。特に珪素や酸素がある場合、共有結合が進み、結合が強化される。

【0060】熱処理温度としては、特に200-1000℃の範囲で、用いる圧電体の圧電特性が失われない範囲が好ましい。

【0061】図2は、ニオブ酸リチウムとタンタル酸リチウムを、前述の方法で直接接合した直接接合界面の透過電子顕微鏡(TEM)写真を示したものである。熱処

理温度は、400℃、1時間である。TEM像において、それぞれの基板側に見える線は、いわゆる原子の格子像と呼ばれるもので、この線の間隔が格子間隔に対応していることから、接合が格子すなわち原子オーダー(1nm程度)の精度で接合されていることがわかる。このように高精度でかつ界面に介在物なしに接合できることから表面弾性波伝搬に対する損失が極めて少ない。

【0062】通常の接着剤を用いて接合した場合、接着剤の厚みは、数μm以下にすることは困難であり、そのため表面弾性波を著しく減衰させることから実用に耐えない。

【0063】スパッタリング、化学気相成長法、真空蒸着などの薄膜技術を用いて、圧電体を形成した場合、かなり良好な接合界面が得られるが、得られる圧電体の圧電特性は、バルクのものよりもはるかに劣るものであり、また得られる圧電体の種類もZnO、AlNなどに限られる。またその結晶方位も、基板の結晶方位によって制限され、また特定の方位、例えばC軸方向など成長しやすい方位が限られる。

【0064】本実施例の直接接合技術を用いれば、単結晶圧電体であるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶においてバルクの性質を保ったまま、また任意の結晶方位で複合圧電基板が得られるものである。

【0065】また直接接合前もしくは直接接合後に、一方の圧電体を研磨などの加工により薄板化することが容易にできる。通常は、直接接合後、一方の圧電体を使用する表面弾性波の波長に適した厚みに研磨などのより薄板化し、その後、櫛形電極を形成する。ハンドリング可能な厚みであれば、あらかじめその厚みに設定しておいてから直接接合してもよい。しかし、ハンドリング困難な場合、通常50μm程度から以下の場合には、直接接合してから研磨して薄板化した方がよい。

【0066】本実施例の直接接合を用いると、界面が原子オーダーの平坦度で接合されているため、高精度に均一化された薄板化が可能であり、具体的には、3μm+0.01μm程度の薄板化が可能となる。これも直接接合の利点である。

【0067】図1の構成において、単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20の圧電特性、音速、温度依存性、熱膨張率を適当に組み合わせることにより、設計自由度の大きい種々の複合単結晶圧電基板からなる表面弾性波素子が得られる。

【0068】表面弾性波素子の特性は、主に電気機械結合係数、音速、音速の温度依存性によって決まる。フィルタなどに適用した場合、電気機械結合係数は挿入損失、通過帯域幅に関係する。一般に電気機械結合係数が大きいほど、挿入損失は少なくなり、通過帯域幅は広くなる。通過帯域は用途によって、広い方がよい場合と、反対に狭い方がよい場合とある。

【0069】また音速は、櫛形電極の電極幅を決定する。櫛形電極の電極幅およびその間隔は、通常1/4波長程度に設定することから、高周波の用途では、音速が速いほど、製造においてホトリソグラフィーなどの微細加工が容易になり、好ましい。

【0070】一方、低周波の用途においては、あるいは信号遅延線などの用途においては、音速が遅いほど素子寸法を小さくできることから好ましい。

【0071】温度依存性は、一般に小さいほど好ましい。

（実施例1-1）図3は、実施例1における第1の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板にタンタル酸リチウムを、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを用いた例である。

【0072】図3において、11は、36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムからなる単結晶圧電基板、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板で、単結晶圧電基板11と単結晶圧電薄板21とは、前述の直接接合により複合化されている。

【0073】30、30'は単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0074】41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの電気機械結合係数は17.2%、音速は4792m/秒、36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムの電気機械結合係数は5-7%、音速は4160m/秒である。

【0075】しかしこのように直接接合により複合化した複合単結晶圧電基板では、単結晶圧電薄板21の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速が、それぞれの圧電体とは異なる特性が得られる。

【0076】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を1/4波長で約5μm（音速を4160m/秒と考える）とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から3波長である、5-60μmに設定することにより、電気機械結合係数、音速とも、単結晶圧電薄板21の36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムの値とも、単結晶圧電基板11の41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムとも異なる値が得られる。

【0077】具体的には、例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板21の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が10%で、音速が4500m/秒程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速とも、もとのそれぞれの圧電体の中間の値が得られることにより、例えば、高周波で帯域の狭いフィルタに適した表面弾性波素子となる。

【0078】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄

板21の厚みが特に1/4波長から1波長の間が著しいが、単結晶圧電薄板の厚みが3波長程度でも効果が認められる。

【0079】本実施例では主に電気機械結合係数と音速に及ぼす効果を示すものである。

（実施例1-2）図4は、実施例1における第2の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に水晶（単結晶）を、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを用いた例である。

10 【0080】図4において、12は、43度Y-カット、X軸伝搬の水晶からなる単結晶圧電基板、21は（実施例1-1）と同様、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板で、単結晶圧電基板12と単結晶圧電薄板21は、前述の直接接合により複合化されている。

【0081】30、30'は単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

20 【0082】41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの電気機械結合係数は17.2%、音速は4792m/秒、温度依存性は、約50ppm/°C、43度Y-カット、X軸伝搬の水晶の電気機械結合係数は0.16%、音速は3158m/秒、温度依存性は0ppm/°Cである。

【0083】この場合も（実施例1-1）と同様、単結晶圧電薄板の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速と温度依存性が、それぞれの圧電体とは異なる特性が得られる。

30 【0084】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を1/4波長で約4μm（音速を3158m/秒と考える）とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から3波長である、4-48μmに設定することにより、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、単結晶圧電薄板21の41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの値とも、単結晶圧電基板12の43度Y-カット、X軸伝搬の水晶とも異なる値が得られる。

40 【0085】例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板21の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が5%で、音速が3300m/秒、温度依存性が30ppm/°C程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、もとのそれぞれの圧電体の中間の値が得られることにより、非常に温度依存性の少ないフィルタに適した表面弾性波素子となる。

【0086】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄板21の厚みが特に1/4波長から1波長の間が著しいが、単結晶圧電薄板の厚みが3波長程度でも効果が認められる。

【0087】本実施例では主に温度依存性におよぼす効果を示すものである。

(実施例1-3) 図5は、実施例1における第3の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に水晶(単結晶)を、単結晶圧電薄板にタンタル酸リチウムを用いた例である。

【0088】図5において、12は、(実施例1-1)と同様、43度Y-カット、X軸伝搬の水晶からなる単結晶圧電基板、22は、36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムからなる単結晶圧電薄板で、単結晶圧電基板12と単結晶圧電薄板22は、前述の直接接合により複合化されている。

【0089】30、30'は単結晶圧電薄板22の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0090】36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムの電気機械結合係数は5-7%、音速は4160m/秒、温度依存性は、約30ppm/°C、43度Y-カット、X軸伝搬の水晶の電気機械結合係数は0.16%、音速は3158m/秒、温度依存性は0ppm/°Cである。

【0091】この場合も(実施例1-1)と同様、単結晶圧電薄板の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速と温度依存性が、それぞれの圧電体とは異なる特性が得られる。

【0092】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を1/4波長で約4μm(音速を3158m/秒と考える)とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から3波長である、4-48μmに設定することにより、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、単結晶圧電薄板22の36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムの値とも、単結晶圧電基板12の43度Y-カット、X軸伝搬の水晶とも異なる値が得られる。

【0093】例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板22の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が2%で、音速が3300m/秒、温度依存性が20ppm/°C程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、もとのそれぞれの圧電体の中間の値が得られることにより、非常に温度依存性の少ないフィルタに適した表面弾性波素子となる。

【0094】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄板21の厚みが特に1/4波長から1波長の間が著しいが、単結晶圧電薄板の厚みが3波長程度でも効果が認められる。

【0095】本実施例では主に温度依存性におよぼす効果を示すものである。

(実施例1-4) 図6は、実施例1における第4の具体

的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に単結晶ほう酸リチウムを、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを用いた例である。

【0096】図6において、13は、45度X-カット、Z軸伝搬の単結晶ほう酸リチウムからなる単結晶圧電基板、21は(実施例1-1)と同様、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板で、単結晶圧電基板13と単結晶圧電薄板21は、前述の直接接合により複合化されている。

【0097】30、30'は単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0098】41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの電気機械結合係数は17.2%、音速は4792m/秒、温度依存性は、約50ppm/°C、45度X-カット、Z軸伝搬の単結晶ほう酸リチウムの電気機械結合係数は1%、音速は3401m/秒、温度依存性は0ppm/°Cである。

【0099】この場合も(実施例1-1)と同様、単結晶圧電薄板の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速と温度依存性が、それぞれの圧電体とは異なる特性が得られる。

【0100】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を1/4波長で約4μm(音速を3401m/秒と考える)とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から3波長である、4-48μmに設定することにより、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、単結晶圧電薄板21の41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの値とも、単結晶圧電基板13の45度X-カット、Z軸伝搬の単結晶ほう酸リチウムとも異なる値が得られる。

【0101】例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板21の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が5%で、音速が3500m/秒、温度依存性が30ppm/°C程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速、温度依存性とも、もとのそれぞれの圧電体の中間の値が得られることにより、非常に温度依存性の少ないフィルタに適した表面弾性波素子となる。

【0102】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄板21の厚みが特に1/4波長から1波長の間が著しいが、単結晶圧電薄板の厚みが3波長程度でも効果が認められる。

【0103】本実施例では主に温度依存性におよぼす効果を示すものである。以上単結晶圧電体として、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶の特定の組合せのみを示したが、これ以外の種々の組合せにおいても、その組合せに応じて種々の電気機械結合係数、音速、温度依存性をもった複合単結晶圧電基板

が得られる。

【0104】(実施例2)本発明の表面弾性波素子の構造の第2の実施例の斜視図を図7(a)に、また斜視図7(a)の、A-A'部断面構造を、図7(b)に示す。

【0105】図7において、10、20、30、30'は実施例1と同様、それぞれ単結晶圧電基板、単結晶圧電薄板、単結晶圧電薄板20の上に形成された櫛形電極である。櫛形電極はここでもやはり簡略化して表示している。40は、単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20

10の間に形成された無機薄膜層である。

【0106】単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20は、実施例1と同様、例えば単結晶圧電体であるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶が適している。

【0107】無機薄膜層としては、珪素や酸化珪素、窒化珪素などの珪素化合物、ほう珪酸化合物などの珪酸化合物が適している。無機薄膜層の厚みは、使用する表面弾性波の波長にたいして十分薄い方が好ましく、具体的には1/2波長以下が好ましい。

【0108】表面弾性波素子としての機能は、実施例1と同様、櫛形電極30に高周波信号を入れることにより、その近傍の圧電部に表面弾性波が励振され、それが積層構造を経て、他方の櫛形電極30'に伝搬して、櫛形電極30'下部の圧電部で再び電気信号に変換されるものである。ここでは櫛形電極を用いた表面弾性波素子の基本構成を示したもので、実際に高周波フィルタや共振子にする場合には、櫛形電極の数を増したり、構成を変えたりする。

【0109】単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20は、すくなくとも前記圧電体の一方の基板表面に、無機薄膜層を有し、それぞれの無機薄膜層および基板表面を平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されたものである。

【0110】ここで用いた直接接合の意味は、実施例1と同様である。本実施例における直接接合の製造プロセスについて説明する。

【0111】具体的には、例えば、圧電体として、単結晶のニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を用いた場合について説明する。

【0112】また無機薄膜層として、珪素、酸化珪素、窒化珪素、ほう珪酸ガラスを用いた場合について説明する。

【0113】まず直接接合しようとする2枚の圧電体表面を平坦化、鏡面化、洗浄する。必要に応じてエッチングにより表面層を除去する。

【0114】次に2枚の圧電体の内、少なくとも一方の基板の接合予定表面に、薄膜技術により無機薄膜層を形成する。無機薄膜層は、上記材料について、いずれもス

パッタリング、化学気相成長法、真空蒸着により形成できる。膜厚は、使用する表面弾性波の波長よりも十分薄くする。具体的には使用する表面弾性波の1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下、例えば0.1-1μm程度である。

【0115】次に接合予定の圧電体または無機薄膜層表面を、必要に応じ(無機薄膜層形成前に平坦化、鏡面化、清浄化を行っているので、無機薄膜層が良好に形成されておれば不要)平坦化、鏡面化したのち、親水化処理する。以後の処理は、実施例1と同様である。

【0116】具体的には、例えばアンモニア-過酸化水素溶液に浸すことにより、表面に水酸基が容易に付着するようになり親水化される。次に純水で十分洗浄する。これにより各基板表面に水酸基が付着する。この状態で2枚の基板を重ね合わせると、主として水酸基のファンデーワールス力により2枚の基板が吸着する。この状態でも強固な接着状態となるが、さらにこの状態で、100℃以上の温度で数10分から数10時間熱処理することにより、界面から水構成成分が次第に抜けていく。これに伴い、水酸基の水素結合主体の結合から酸素や水素、また基板構成原子のかかわる結合が進み、基板構成原子同士の接合が序々に始まり接合は非常に強化される。特に無機薄膜層として、珪素を含有しており、さらに酸素が周辺に十分存在するので、共有結合が進み、結合が強化される。

【0117】熱処理温度としては、特に200-1000℃の範囲で、用いる圧電体の特性が失われない範囲が好ましい。

【0118】この場合の直接接合も、実施例1と同様、接合が原子オーダーの精度で接合されているから、表面弾性波伝搬に対する損失が極めて少ない。また無機薄膜層の厚みは、使用する表面弾性波の波長に比べて十分薄くした場合、無機薄膜層での表面弾性波の損失も極めて少なく、実質上問題とならない。したがって直接接合の利点は、実施例1と同様である。

【0119】本実施例の特徴は、実施例1と比べて、直接接合界面に無機薄膜層があることである。このことにより、2つの利点を得られる。

【0120】第1の利点は、接合時に界面に多少のゴミがあっても、直接接合時に、ゴミがこの無機薄膜層の中にとりこまれるため、接合時の製造歩留まりが向上する。

【0121】第2の利点は、電極をこの無機薄膜層の中に容易に埋め込むことができることから、表面弾性波素子としての設計の自由度がさらに増すことである。

【0122】図8は、無機薄膜層の中に、電極を埋め込んだ構造の実施例を示したものである。

【0123】図8(a)において、10、20は、それぞれ単結晶圧電基板および単結晶圧電薄板である。30、30'は、無機薄膜層40の中に埋め込まれた櫛形

電極である。櫛形電極は、下の基板側に形成されている。また櫛形電極の端部は、図示していないが外部回路と接続できるように露出している。

【0124】図8(b)は、櫛形電極を単結晶圧電薄板側に形成した例である。図8(c)は、図8(a)の構成において、単結晶圧電薄板上面に接地電極35を設けた例である。

【0125】図8(d)は、図8(b)の構成において、単結晶圧電薄板上面に接地電極35を設けた例である。

【0126】図8(e)は、図7の構成において、接地電極35'を、無機薄膜層内に形成した例である。

【0127】このような電極構成による特性の違いは、定性的には以下ようになる。基本的には、電界が、上下の基板のおもにどこに集中するかに依存する。単結晶圧電薄板に電界の集中しやすい順に示すと、図8

(e)、図7、図8(d)、(c)、図8(b)、(a)の順となる。定性的には、ほぼこの順に、上下の基板の特性を混合した圧電特性が積層構造の圧電特性として得られる。

【0128】したがって、このような電極構成にした場合、図7と同じ圧電体と厚みを用いても、表面弾性波励振のされ方が異なり、当然、図7の圧電特性と異なる圧電特性が得られる。具体的には、例えば、電気機械結合係数が大きくなるという効果が得られる。

【0129】図8の構造を得る場合には、単結晶圧電基板の表面を、平坦化、鏡面化、清浄化した後、櫛形電極を形成し、その上に上記した如く、各種薄膜技術により、無機薄膜層を形成し、以下前述の製造プロセスにより直接接合することにより得られる。櫛形電極を埋め込む場合は、無機薄膜層は十分高抵抗でなければならない。

【0130】図7または図8の構成においても、単結晶圧電基板10と単結晶圧電薄板20の圧電特性、音速、温度依存性、熱膨張率を適当に組み合わせることにより、設計自由度の大きい種々の複合単結晶圧電基板からなる表面弾性波素子が得られる。

【0131】(実施例2-1)図9は、実施例2における第1の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板にタンタル酸リチウムを、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを、無機薄膜層に珪素を用いた例である。

【0132】図9において、(実施例1-1)と同様、11は、36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムからなる単結晶圧電基板、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板である。また41はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により単結晶圧電基板11の上に形成した珪素(非晶質または多結晶)層である。

【0133】単結晶圧電薄板21は、珪素層41との界

面で、前述の直接接合により複合化されている。30、30'は、(実施例1-1)と同様、単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0134】本実施例においても、無機薄膜層の厚みを十分薄く(1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下)することにより、圧電特性の設計自由度としては、(実施例1-1)とほぼ同様の効果が得られる。

【0135】さらに本実施例の場合には、無機薄膜層があることにより、前述の如く製造上有利であり、また電極配置の自由度が増す。

【0136】(実施例2-2)図10は、実施例2における第2の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に水晶(単結晶)を、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを、無機薄膜層に酸化珪素または窒化珪素を用いた例である。

【0137】図10において、12は、-43度Y-カット、X軸伝搬の水晶からなる単結晶圧電基板、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板である。また42はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により、単結晶圧電基板12の上に形成した酸化珪素(非晶質)または窒化珪素(非晶質)層である。

【0138】単結晶圧電薄板21は、酸化珪素または窒化珪素層42との界面で、前述の直接接合により複合化されている。30、30'は、(実施例2-1)と同様、単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0139】本実施例においても、無機薄膜層の厚みを十分薄く(1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下)することにより、圧電特性の設計自由度としては、(実施例1-2)とほぼ同様の効果が得られる。

【0140】さらに本実施例の場合には、無機薄膜層があることにより、前述の如く製造上有利であり、また電極配置の自由度が増す。

【0141】(実施例2-3)図11は、実施例2における第3の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に水晶(単結晶)を、単結晶圧電薄板にタンタル酸リチウムを、無機薄膜層にほう珪酸系ガラスを用いた例である。

【0142】図11において、12は、(実施例2-1)と同様、43度Y-カット、X軸伝搬の水晶からなる単結晶圧電基板、22は、36度Y-カット、X軸伝搬の単結晶タンタル酸リチウムからなる単結晶圧電薄板である。また43はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により、単結晶圧電基板12の上に形成したほう珪酸系ガラス層である。

【0143】単結晶圧電薄板22は、ほう珪酸ガラス層43との界面で、前述の直接接合により複合化されている。30、30'は、(実施例2-1)と同様、単結晶

圧電薄板22の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0144】本実施例においても、無機薄膜層の厚みを十分薄く（ $1/2$ 波長以下、さらに好ましくは $1/10$ 波長以下）することにより、圧電特性の設計自由度としては、（実施例1-3）とほぼ同様の効果が得られる。

【0145】さらに本実施例の場合には、無機薄膜層があることにより、前述の如く製造上有利であり、また電極配置の自由度が増す。

【0146】（実施例2-4）図12は、実施例2における第4の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板に単結晶ほう酸リチウムを、単結晶圧電薄板に単結晶ニオブ酸リチウムを、無機薄膜層に酸化珪素または窒化珪素層を用いた例である。

【0147】図12において、13は、45度X-カット、Z軸伝搬の単結晶ほう酸リチウムからなる単結晶圧電基板、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電薄板である。

【0148】また42はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により、単結晶圧電基板13の上に形成した酸化珪素（非晶質）または窒化珪素（非晶質）層である。

【0149】単結晶圧電薄板21は、酸化珪素または窒化珪素層42との界面で、前述の直接接合により複合化されている。30、30'は、（実施例2-1）と同様、単結晶圧電薄板21の上に設けた櫛形電極である。ここでは簡略化して表示してある。

【0150】本実施例においても、無機薄膜層の厚みを十分薄く（ $1/2$ 波長以下、さらに好ましくは $1/10$ 波長以下）することにより、圧電特性の設計自由度としては、（実施例1-4）とほぼ同様の効果が得られる。

【0151】さらに本実施例の場合には、無機薄膜層があることにより、前述の如く製造上有利であり、また電極配置の自由度が増す。

【0152】以上単結晶圧電体として、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶、無機薄膜層として、珪素、酸化珪素や窒化珪素、ほう珪酸系ガラスの特定の組合せのみを示したが、これ以外の種々の組合せにおいても、その組合せに応じて種々の電気機械結合係数、音速、温度依存性をもった複合単結晶圧電基板が得られる。

【0153】（実施例3）本発明の表面弾性波素子の構造の第3の実施例の斜視図を図13（a）に、また斜視図13（a）の、A-A'部断面構造を、図13（b）に示す。

【0154】図13において、50は非圧電基板、20は単結晶圧電薄板、30、30'は単結晶圧電薄板20の上に設けた櫛形電極である。櫛形電極はここでは簡略化して表示している。

【0155】非圧電基板50は、例えば、ガラスなどの

音速の遅い基板、熱膨張率の小さい基板、またはほう素、非晶質炭素、グラファイトなどの音速の速い基板であり、単結晶圧電薄板20は、例えば単結晶圧電体であるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶が適している。

【0156】表面弾性波素子としての機能は、実施例1と同様、櫛形電極30に高周波信号を入れることにより、その近傍の圧電部に表面弾性波が励振され、それが積層構造を経て、他方の櫛形電極30'に伝搬して、櫛形電極30'下部の圧電部で再び電気信号に変換されるものである。

【0157】ここでは櫛形電極を用いた表面弾性波素子の基本構成を示したもので、実際に高周波フィルタや共振子にする場合には、櫛形電極の数を増したり、構成を変えたりする。

【0158】非圧電基板50と単結晶圧電薄板20は、それぞれの表面を、平坦化、鏡面化、清浄化、親水化処理して、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されたものである。

【0159】ここで用いた直接接合の意味は、実施例1と同様である。次に本実施例における製造プロセスについて説明する。

【0160】具体的には、例えば、非圧電基板として、ガラス、またはほう素、非晶質炭素、グラファイトを、圧電体として、単結晶のニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を用いた場合について説明する。

【0161】まず直接接合しようとする非圧電基板と圧電体表面を、平坦化、鏡面研磨し、洗浄する。必要に応じてエッチングにより表面層を除去する。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、水晶のエッチングには弗酸系エッチング液を用いる。ほう酸リチウムの場合には弱酸でよい。非圧電基板表面も弗酸系溶液で洗浄する。

【0162】次に表面を親水化処理する。以下のプロセスは、実施例1と同様である。具体的には、例えばアンモニア過酸化水素溶液に浸すことにより、表面に水酸基が容易に付着するようになり親水化される。次に純水で十分洗浄する。これにより各基板表面に水酸基が付着する。この状態で2枚の基板を重ね合わせると、主として水酸基のファンデーラーワールス力により2枚の基板が吸着する。この状態でも強固な接着状態となるが、さらにこの状態で、 100°C 以上の温度で数10分から数10時間熱処理することにより、界面から水構成成分が次第に抜けていく。これに伴い、水酸基の水素結合主体の結合から酸素や水素、また基板構成原子のかかわる結合が進み、基板構成原子同士の接合が序々に始まり接合は非常に強化される。特に珪素や炭素、酸素がある場合、共有結合が進み、結合が強化される。

【0163】熱処理温度としては、特に $200-1000^{\circ}\text{C}$ の範囲で、用いる圧電体の特性が失われない範囲が

好ましい。また酸化しやすいもの場合は、非酸化性雰囲気中で熱処理することが必要となる。

【0164】この場合の接合も、実施例1と同様、接合が格子すなわち原子オーダーの精度で接合されていることから表面弾性波伝搬に対する損失が極めて少ない。

【0165】ほう素、非晶質炭素、グラファイトは、各種基板の上に薄膜技術で形成したものであってもよい。その膜厚が、使用する表面弾性波の波長よりも十分厚ければよい。

【0166】図13の構成において、非圧電基板50の音速、熱膨張率と、単結晶圧電薄板20の圧電特性、音速、温度依存性、熱膨張率を適当に組み合わせることにより、設計自由度の大きい種々の複合圧電基板からなる表面弾性波素子が得られる。

【0167】(実施例3-1)図14は、実施例3における第1の具体的実施例の構造を示したもので、非圧電基板に音速の遅いガラスを、単結晶圧電薄板に単結晶ニオブ酸リチウムを用いた例である。

【0168】図14において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなるは単結晶圧電基板、51は、ほう珪酸鉛系ガラスで、非圧電基板51と単結晶圧電薄板21は、前述の直接接合により複合化されている。

【0169】30、30'は表面波励振用の櫛形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0170】41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの電気機械結合係数は17.2%、音速は4792m/秒、ほう珪酸鉛系ガラス基板の音速は1000-2000m/秒である。

【0171】この場合も(実施例1-1)と同様、単結晶圧電薄板の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速が、用いた圧電体とは異なる特性が得られる。

【0172】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を1/4波長で約2.5μm(音速を2000m/秒と考える)とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から1波長である、2.5-10μmに設定することにより、電気機械結合係数、音速とも、単結晶圧電薄板21の41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの値とも、非圧電基板51のほう珪酸鉛ガラス基板とも異なる値が得られる。

【0173】例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板21の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が1-5%で、音速が1500-2500m/秒、程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速とも、もとのそれぞれの基板の中間の値が得られることにより、電気機械結合係数は比較的大きくて、音速の比較的遅い特性が得られることから、低周波のフィルタや遅延線に適した表面弾性

波素子となる。

【0174】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄板21の厚みが特に1/2波長から1波長の間が著しい。

【0175】本実施例では主に音速におよぼす効果を示すものである。

(実施例3-2)図15は、実施例3における第2の具体的実施例の構造を示したもので、非圧電基板に、音速の速い、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトを、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを用いた例である。

【0176】図15において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなるは単結晶圧電基板、52は、非圧電基板で、ほう素または非晶質炭素またはグラファイトである。非圧電基板52と単結晶圧電薄板21は、前述の直接接合により複合化されている。

【0177】30、30'は表面波励振用の櫛形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0178】41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの電気機械結合係数は17.2%、音速は4792m/秒、非圧電基板の音速は、ほう素が10,000m/秒、非晶質炭素が約10,000m/秒、グラファイトが10,000-15,000m/秒である。

【0179】この場合も(実施例1-1)と同様、単結晶圧電薄板の厚みを、用いる表面弾性波の波長に応じて適当な厚みに設定してやることにより、実質的な電気機械結合係数と音速が、用いた圧電体とは異なる特性が得られる。

【0180】例えば約200MHzで櫛形電極を励振する場合、櫛形電極の間隔を各非圧電基板の音速の1/4波長とし、単結晶圧電薄板21の厚みを1/4波長から1波長に設定することにより、電気機械結合係数、音速とも、単結晶圧電薄板21の41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムの値とも、非圧電基板52とも異なる値が得られる。

【0181】例えば、それぞれ中間の値が得られる。単結晶圧電薄板21の厚みを、1/2波長から1波長程度に設定すると、電気機械結合係数が1-5%で、音速が5000-12000m/秒程度の値が得られる。この場合、電気機械結合係数、音速とも、もとのそれぞれの基板の中間の値が得られることにより、電気機械結合係数は比較的大きくて、音速の速い特性が得られることから、高周波のフィルタに適した表面弾性波素子となる。

【0182】このような複合化の効果は、単結晶圧電薄板21の厚みが特に1/4波長から1波長の間が著しい。

【0183】本実施例では主に音速におよぼす効果を示すものである。

(実施例3-3) 図16は、実施例3における第3の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電薄板にニオブ酸リチウムを、非圧電基板に、熱膨張率が単結晶圧電薄板よりも小さいガラスを用いた例である。

【0184】図16において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電基板、53は、非圧電基板で、熱膨張率の小さいガラスである。非圧電基板53と単結晶圧電薄板21は、前述の直接接合により複合化されている。

【0185】30、30'は表面波励振用の櫛形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0186】本実施例の場合は、単結晶圧電薄板21の厚みが、使用する表面波の波長より厚くてもかまわない。

【0187】このような構造において、非圧電基板53に用いる材料の熱膨張率を、単結晶圧電薄板21に用いる材料の熱膨張率よりも小さいものを選ぶことにより、温度依存性に優れた表面弾性波素子が得られる。

【0188】例えば、単結晶圧電基板として厚み100 μm のニオブ酸リチウムを用い(熱膨張率は結晶方位によって異なり、 $7.5-15 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ である)、ガラス基板として厚み1mm、熱膨張率が $4 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ のものを選ぶことにより、圧電体の厚みが、使用する表面弾性波の波長の数倍以上あっても、電気機械結合係数を落とすことなく、温度依存性を、10-20%改善することができる。

【0189】これは、単結晶圧電薄板21と非圧電基板53が直接接合により、原子オーダーレベルで結合されているので、温度の上昇により、熱膨張率の差に基づく圧縮応力が単結晶圧電薄板21に加わり、温度依存性が改善されたものと考えられる。

【0190】したがって、単結晶圧電薄板よりも熱膨張率の小さい保持基板を用いることにより、電気機械結合係数はほぼ同じでありながら、温度特性の改善された表面弾性波素子を得ることができる。

【0191】例えばタンタル酸リチウムの熱膨張率は、 $4-16 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、ほう酸リチウムの熱膨張率は、 $4-13 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、水晶の熱膨張率は、 $7.5-14 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であり、これに対してガラス基板は熱膨張率が $4-10 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ のものが自由に選べる。したがって単結晶圧電基板に、特定の結晶方位を向いたタンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶などを用い、その結晶方位の熱膨張率よりも熱膨張率の小さいガラス基板を用いる事により、本実施例と同様の効果が得られる。上記効果を得るのに、保持する側の基板が非圧電基板である必要はない。

【0192】以上単結晶圧電体として、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を用い、非圧電基板として、ガラス、ほう素、非晶質炭素、グラファイトの特定の組合せのみを示したが、これ以外

の種々の組合せにおいても、その組合せに応じて種々の電気機械結合係数、音速、温度依存性をもった複合単結晶圧電基板が得られる。

【0193】(実施例4) 本発明の表面弾性波素子の構造の第4の実施例の斜視図を図17(a)に、また斜視図17(a)の、A-A'部断面構造を、図17(b)に示す。

【0194】図17において、20、30、30'、50は実施例3と同様、それぞれ単結晶圧電薄板、単結晶圧電薄板20の上に形成された櫛形電極、非圧電基板である。櫛形電極はここでもやはり簡略化して表示している。40は、非圧電基板50と単結晶圧電薄板20の間に形成された無機薄膜層である。

【0195】非圧電基板50は、実施例3と同様、例えば、ほう素、非晶質炭素、グラファイトなどの音速の速い基板、またはガラスなどの音速の遅い基板、熱膨張率の小さい基板であり、単結晶圧電薄板20は、実施例3と同様、例えば単結晶圧電体であるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶が適している。

【0196】無機薄膜層としては、実施例2と同様、珪素や酸化珪素、窒化珪素などの珪素化合物、ほう珪酸化合物などの珪酸化合物が適している。無機薄膜層の厚みは、使用する表面弾性波の波長にたいして十分薄い方が好ましく、具体的には1波長以下とくに $1/10$ 波長以下が好ましい。

【0197】表面弾性波素子としての機能は、実施例1と同様、櫛形電極30に高周波信号を入れることにより、その近傍の圧電部に表面弾性波が励振され、それが積層構造を経て、他方の櫛形電極30'に伝搬して、櫛形電極30'下部の圧電部で再び電気信号に変換されるものである。ここでは櫛形電極を用いた表面弾性波素子の基本構成を示したもので、実際に高周波フィルタや共振子にする場合には、櫛形電極の数を増したり、構成を変えたりする。

【0198】非圧電基板10と単結晶圧電薄板20は、すくなくとも前記基板の一方の表面に、無機薄膜層を有し、それぞれの無機薄膜層および基板表面を、平坦化、鏡面化、清浄化して親水化処理し、重ね合わせ熱処理することにより直接接合されて積層されたものである。

【0199】ここで用いた直接接合の意味は、実施例1と同様である。本実施例における直接接合の製造プロセスについて説明する。

【0200】具体的には、例えば、圧電体として、単結晶のニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を、絶縁体として、ガラス、ほう素、非晶質炭素、グラファイトを、また無機薄膜層として、珪素、酸化珪素、窒化珪素、ほう珪酸ガラスを用いた場合について説明する。

【0201】まず直接接合しようとする圧電体と非圧電

基板表面を、平坦化、鏡面研磨し、洗浄する。必要に応じてエッチングにより表面層を除去する。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、水晶のエッチングには弗酸系エッチング液を用いる。ほう酸リチウムの場合には弱酸でよい。ガラス、ほう素、非晶質炭素、グラファイトは弗酸系を用いる。

【0202】次に2枚の基板の内、少なくとも一方の基板の接合予定表面に、薄膜技術により無機薄膜層を形成する。無機薄膜層は、上記材料について、いずれもスパッタリング、化学気相成長法、真空蒸着により形成できる。膜厚は、使用する表面弾性波の波長よりも十分薄くする(1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下)。例えば0.1-1 μ m程度である。

【0203】次に接合予定の圧電体または無機薄膜層表面を、平坦化、鏡面化、清浄化する。無機薄膜層形成前の基板表面状態が、十分平坦で鏡面化され、清浄になっていれば、必ずしもあらためて処理する必要はない。ついで各表面を親水化処理する。以下の処理は、実施例3と同様である。

【0204】具体的には、例えばアンモニア過酸化水素溶液に浸すことにより、表面に水酸基が容易に付着するようになり親水化される。次に純水で十分洗浄する。これにより各基板表面に水酸基が付着する。この状態で2枚の基板を重ね合わせると、主として水酸基のファンダーワールス力により2枚の基板が吸着する。この状態でも強固な接着状態となるが、さらにこの状態で、100℃以上の温度で数10分から数10時間熱処理することにより、界面から水構成成分が次第に抜けていく。これに伴い、水酸基の水素結合主体の結合から酸素や水素、また基板構成原子のかかわる結合が進み、基板構成原子同士の接合が序々に始まり接合は非常に強化される。特に無機薄膜層として、珪素を含有しており、さらに酸素が周辺に十分存在するので、共有結合が進み、結合が強化される。

【0205】熱処理温度としては、特に200-1000℃の範囲で、用いる圧電体の特性が失われない範囲が好ましい。

【0206】この場合の直接接合も、実施例1と同様、接合が原子オーダーの精度で接合されているから、表面弾性波伝搬に対する損失が極めて少ない。また無機薄膜層の厚みは、使用する表面弾性波の波長に比べて十分薄いので、無機薄膜層での表面弾性波の損失も極めて少なく、実質上問題とならない。したがって直接接合の利点は、実施例1と同様である。

【0207】本実施例の特徴は、実施例3と比べて、直接接合界面に無機薄膜層があることである。このことにより、実施例2と同様2つの利点を得られる。

【0208】第1の利点は、接合時に界面に多少のゴミがあっても、直接接合時に、ゴミがこの無機薄膜層の中にとりこまれるため、接合時の製造歩留まりが向上す

る。

【0209】第2の利点は、電極をこの無機薄膜層の中に容易に埋め込むことができることから、表面弾性波素子としての設計の自由度がさらに増すことである。

【0210】図18は、無機薄膜層の中に、電極を埋め込んだ構造の実施例を示したものである。

【0211】図18(a)において、50、20は、それぞれ非圧電基板および単結晶圧電薄板である。31、31'は、無機薄膜層40の中に埋め込まれた櫛形電極である。櫛形電極は、下の基板側に形成されている。また櫛形電極の端部は、図示していないが外部回路と接続できるように露出している。

【0212】図18(b)は、櫛形電極を単結晶圧電薄板側に形成した例である。図18(c)は、図18(a)の構成において、単結晶圧電薄板上面に接地電極35を設けた例である。

【0213】図18(d)は、図18(b)の構成において、単結晶圧電薄板上面に接地電極35を設けた例である。

【0214】図18(e)は、図17の構成において、接地電極35'を、無機薄膜層内に形成した例である。

【0215】このような電極構成による特性の違いは、実施例2と同様であり、定性的には以下ようになる。基本的には、電界が、上下の基板のおもにどこに集中するかに依存する。単結晶圧電薄板に電界の集中しやすい順に示すと、図18(e)、図17、図18(d)(c)、図18(b)(a)の順となる。定性的には、ほぼこの順に、上下の基板の特性を混合した圧電特性が積層構造の圧電特性として得られる。

【0216】したがって、このような電極構成にした場合、図17と同じ圧電体と厚みを用いても、表面弾性波励振のされ方が異なり、当然、図17の圧電特性と異なる圧電特性が得られる。具体的には、例えば、電気機械結合係数が大きくなるという効果が得られる。

【0217】図18の構造を得る場合には、非圧電基板もしくは単結晶圧電基板の表面を、平坦化、鏡面研磨し、清浄化した後、櫛形電極を形成し、その上に、上記した如く、各種薄膜技術により、無機薄膜層を形成し、以下前述の製造プロセスにより直接接合することにより得られる。

【0218】図17または図18の構成においても、非圧電基板50と単結晶圧電薄板20の圧電特性、音速、温度依存性、熱膨張率を適当に組み合わせることにより、設計自由度の大きい種々の複合単結晶圧電基板からなる表面弾性波素子が得られる。

【0219】(実施例4-1)図19は、実施例4における第1の具体的実施例の構造を示したもので、非圧電基板に音速の遅いガラスを、単結晶圧電薄板に単結晶ニオブ酸リチウムを、無機薄膜層に珪素を用いた例である。

【0220】図19において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電基板、51は、ほう珪酸鉛系ガラスである。41はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により非圧電基板51の上に形成した珪素（非晶質または多結晶）である。

【0221】非圧電基板51は、珪素層41との界面で、単結晶圧電基板21と前述の直接接合により複合化されている。

【0222】30、30'は表面波励振用の楕形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0223】このような構成においても、無機薄膜層の厚みが、使用する表面弾性波の波長に比較して十分薄ければ（1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下）、実施例（3-1）とほぼ同様の効果が得られる。

【0224】（実施例4-2）図20は、実施例4における第2の具体的実施例の構造を示したもので、非圧電基板に、音速の速いほう素または非晶質炭素またはグラファイトを、単結晶圧電基板に単結晶ニオブ酸リチウムを、無機薄膜層に酸化珪素または窒化珪素を用いた例である。

【0225】図20において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電基板、52は、非圧電基板で、ほう素または非晶質炭素またはグラファイト、42はスパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により、非圧電基板52の上に形成した酸化珪素（非晶質）または窒化珪素（非晶質）層である。

【0226】非圧電基板52と単結晶圧電基板21は、42の無機薄膜層を介して、前述の直接接合により複合化されている。

【0227】30、30'は表面波励振用の楕形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0228】このような構成においても、無機薄膜層の厚みが、使用する表面弾性波の波長に比較して十分薄ければ（1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下）、実施例（3-2）とほぼ同様の効果が得られる。

【0229】（実施例4-3）図21は、実施例4における第3の具体的実施例の構造を示したもので、単結晶圧電基板にニオブ酸リチウムを、非圧電基板に、熱膨張率が単結晶圧電基板よりもの小さいガラスを、無機薄膜層にほう珪酸化合物を用いた例である。

【0230】図21において、21は、41度Y-カット、X軸伝搬の単結晶ニオブ酸リチウムからなる単結晶圧電基板、53は、非圧電基板で、熱膨張率の小さいガラスである。43は、スパッタリングまたは化学気相成長法または真空蒸着により非圧電基板53の上に形成したほう珪酸ガラス層である。

【0231】非圧電基板53と単結晶圧電基板21は、ほう珪酸ガラス層43を介して、前述の直接接合により複合化されている。

【0232】30、30'は表面波励振用の楕形電極で、実施例1と同様の基本構成例を示したものである。

【0233】このような構成においても、無機薄膜層の厚みが、使用する表面弾性波の波長に比較して十分薄ければ（1/2波長以下、さらに好ましくは1/10波長以下）、実施例（3-3）とほぼ同様の効果が得られる。上記効果を得るのに、保持する側の基板が非圧電基板である必要はない。

【0234】以上単結晶圧電体として、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、水晶を用い、非圧電基板として、ガラス、ほう素、非晶質炭素、グラファイト、無機薄膜層として、珪素、酸化珪素や窒化珪素他の珪素化合物の特定の組合せのみを示したが、これ以外の種々の組合せにおいても、その組合せに応じて種々の電気機械結合係数、音速、温度依存性をもった複合単結晶圧電基板が得られる。

【0235】以上いずれの実施例においても、2枚の基板の直接接合で説明したが、さらに枚数を増して積層しても、同様の効果を得ることができる。

【0236】また実施例2と4においては、無機薄膜層を一方の基板側にのみ形成する例で説明したが、両方の基板表面に形成してもよい。

【0237】また電極材料は、アルミニウム、金など通常の金属材料を用いることができる。

【0238】

【発明の効果】上記のような構成とすることにより、電気機械結合係数、音速、温度依存性の組合せの自由度が大幅に増し、特に電気機械結合係数が大きくて、温度依存性の小さい表面弾性波素子が得られる。

【0239】また直接接合界面に、無機薄膜層を介在させることにより、製造歩留まりが向上するとともに、電極配置の構成の自由度が増すことにより、さらに圧電特性の設計の自由度が増す。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の構成図

【図2】本発明により直接接合した複合圧電基板の界面の粒子構造を示す透過電子顕微鏡写真

【図3】本発明の第1の実施例の第1の具体例の構成図

【図4】本発明の第1の実施例の第2の具体例の構成図

【図5】本発明の第1の実施例の第3の具体例の構成図

【図6】本発明の第1の実施例の第4の具体例の構成図

【図7】本発明の第2の実施例の構成図

【図8】本発明の第2の実施例の電極配置の具体例の構成図

【図9】本発明の第2の実施例の第1の具体例の構成図

【図10】本発明の第2の実施例の第2の具体例の構成図

【図11】本発明の第2の実施例の第3の具体例の構成図

【図12】本発明の第2の実施例の第4の具体例の構成図

【図13】本発明の第3の実施例の構成図

【図14】本発明の第3の実施例の第1の具体例の構成図

【図15】本発明の第3の実施例の第2の具体例の構成図

【図16】本発明の第3の実施例の第3の具体例の構成図 10

【図17】本発明の第4の実施例の構成図

【図18】本発明の第4の実施例の電極配置の具体例の構成図

【図19】本発明の第4の実施例の第1の具体例の構成図

【図20】本発明の第4の実施例の第2の具体例の構成図

【図21】本発明の第4の実施例の第3の具体例の構成図

【符号の説明】

10 単結晶圧電基板

* 20 単結晶圧電薄板

30 櫛形電極

30' 櫛形電極

11 単結晶圧電基板（ニオブ酸リチウム）

12 単結晶圧電基板（タンタル酸リチウム）

13 単結晶圧電基板（水晶）

21 単結晶圧電薄板（ニオブ酸リチウム）

22 単結晶圧電薄板（タンタル酸リチウム）

31 櫛形電極（埋め込み）

31' 櫛形電極（埋め込み）

32 櫛形電極（埋め込み）

32' 櫛形電極（埋め込み）

33 接地電極（表面）

34 接地電極（埋め込み）

40 無機薄膜層

41 無機薄膜層（珪素）

42 無機薄膜層（酸化珪素または窒化珪素）

43 無機薄膜層（珪酸化物）

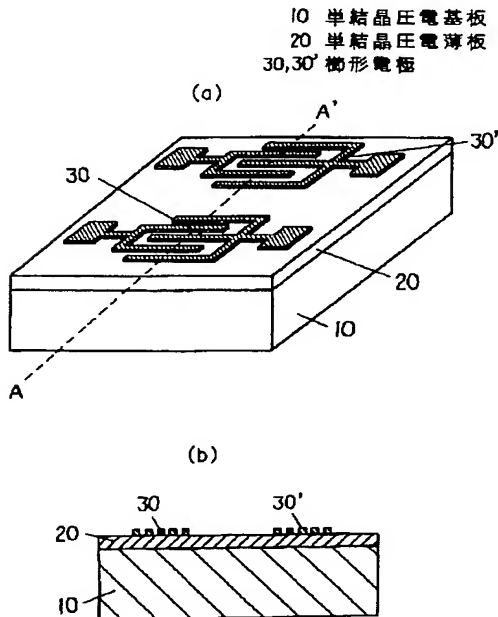
50 非圧電基板

20 51 非圧電基板（ガラス；低音速）

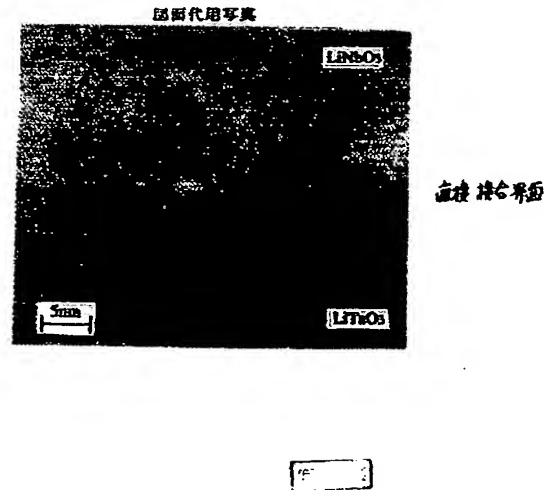
52 非圧電基板（ほう素または非晶質炭素；高音速）

* 53 非圧電基板（ガラス；低熱膨張率）

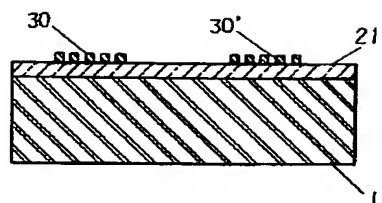
【図1】



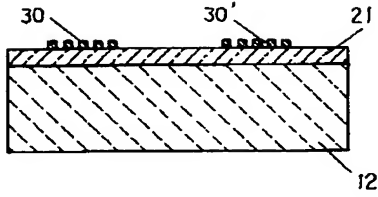
【図2】



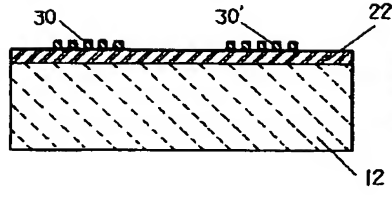
【図3】



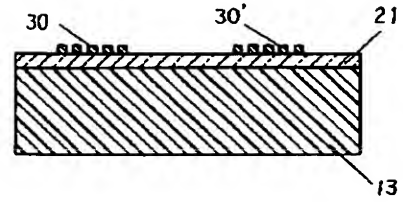
【図4】



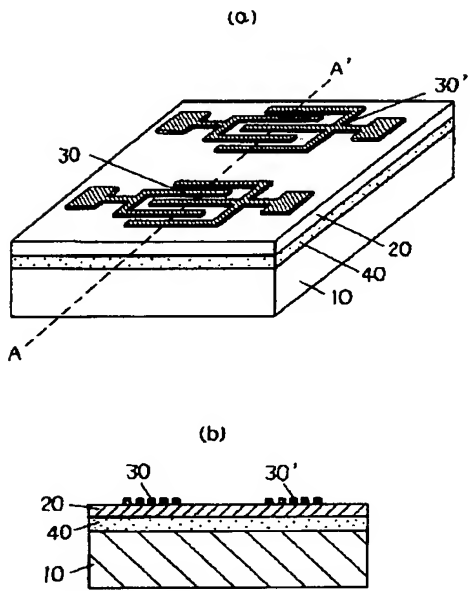
【図5】



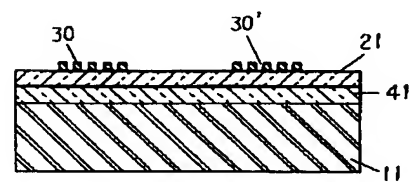
【図6】



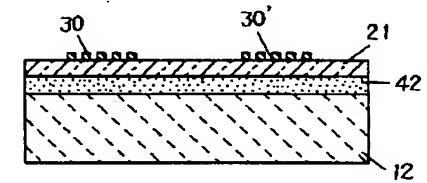
【図7】



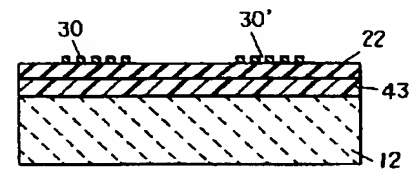
【図9】



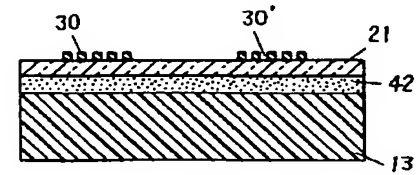
【図10】



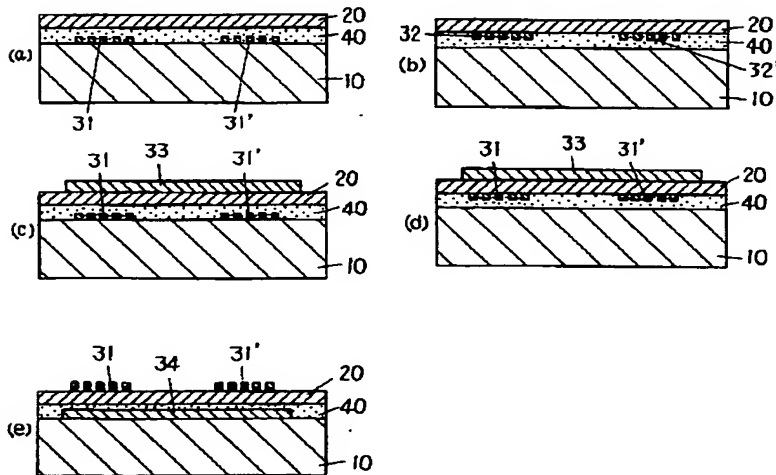
【図11】



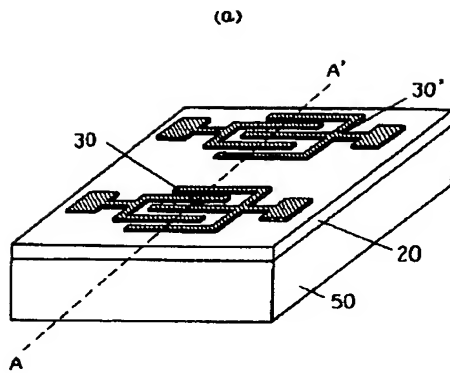
【図12】



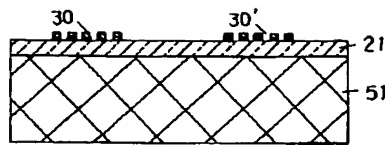
【図8】



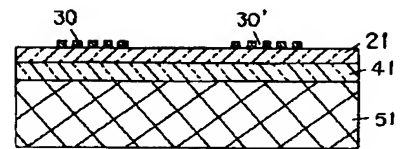
【図13】



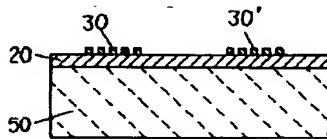
【図14】



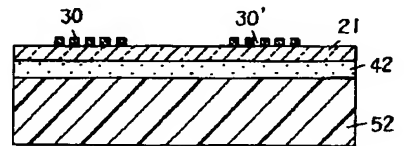
【図19】



(b)

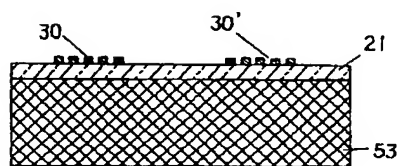
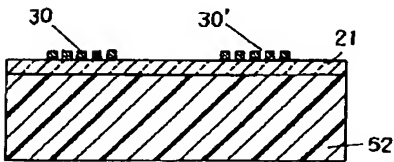


【図20】



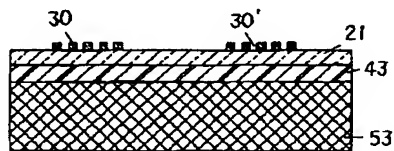
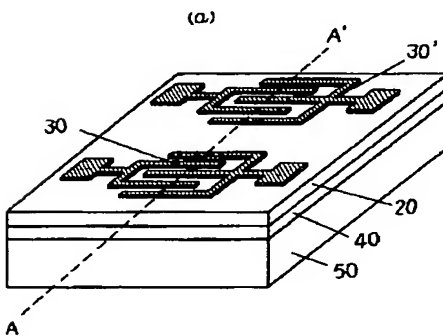
【図15】

【図16】

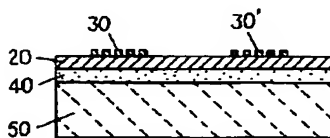


【図17】

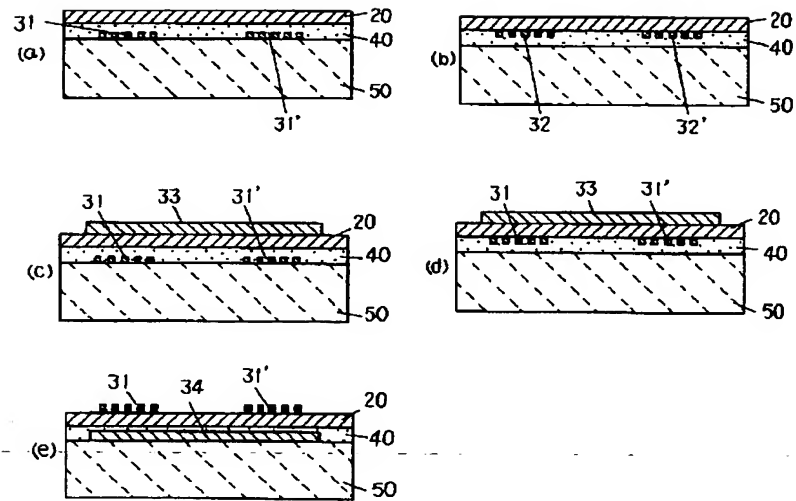
【図21】



(b)



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 関 俊一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内